

2018.5

特集号



(題字：櫻井克年学長)

# 国立大学法人 高知大学学報

## 高知大学学位授与記録第九十四号

総務課広報係発行

本学は、次の者に博士（学術）の学位を授与したので、高知大学学位規則第14条に基づきその論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

\*\*\*\*\*  
 \*  
 \*  
 \*  
 \*  
 \*  
 \*  
 \*\*\*\*\*

# 高知大学学報

本学は、次の者に博士（学術）の学位を授与したので、学位規則（昭和28年文部省令第9号）第8条の規定に基づき、その論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

## 目 次

学位記番号	氏 名	学 位 論 文 の 題 目	ページ
甲総黒博第25号	邊見 由美	干潟域のハゼ科魚類による甲殻類の巣穴利用の共生生態学	1
乙総黒博第8号	和 吾郎	土佐湾の基礎生産に寄与する栄養塩供給に関する研究	5



ふりがな	へんみ ゆみ
氏名（本籍）	邊見 由美（徳島県）
学位の種類	博士（学術）
学位記番号	甲総黒博第25号
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位授与年月日	平成30年3月23日
学位論文題目	干潟域のハゼ科魚類による甲殻類の巣穴利用の共生生態学
発表誌名	Yumi Henmi, Yuya Okada and Gyo Itani (2017): Field and laboratory quantification of alternative use of host burrows by the varunid crab <i>Sestrostoma toriumii</i> (Takeda, 1974) (Brachyura: Varunidae). <i>Journal of Crustacean Biology</i> , 37: 235-242. Yumi Henmi, Katsuhisa Eguchi, Ryutei Inui, Jun Nakajima, Norio Onikura and Gyo Itani (in press): Field survey and resin casting of <i>Gymnogobius macrognathos</i> spawning nests in the Tataru River, Fukuoka Prefecture, Japan. <i>Ichthyological Research</i> (First Online: 26 June 2017).
	<p style="text-align: center;">審査委員 主査 准 教 授      伊谷 行  副査 教 授      木下 泉  副査 教 授      原田 哲夫  副査 准 教 授      三浦 収</p>

論文の内容の要旨

海洋の堆積物底において、ベントスがつくる巣穴は多様な住み込み共生者を支えている。特に、十脚目の甲殻類が構築する巣穴は、二枚貝類、多毛類、甲殻類に加えて魚類にも利用されている。これまで、熱帯サンゴ礁域に生息するハゼ科魚類とテッポウエビ類（コエビ下目）の相利共生関係 に関しては様々な研究が行われてきた。一方で、温帯の干潟域では、ハゼ科魚類とアナジャコ類（アナジャコ下目）やスナモグリ類（アナエビ下目）との片利共生関係が見られるが、研究例は限られている。この関係は *Acanthogobius* 系統の、特に温帯域の太平洋に分布する Bay Goby グループと呼ばれるハゼ類で発達しており、日本では、ヒモハゼやウキゴリ属の複数種がアナジャコ類やスナモグリ類の巣穴を隠れ家や産卵場として使用する。本研究では、これらのハゼ類を中心として、巣穴利用に関して多角的なアプローチから生態解明を行い、他のハゼ類と共生性甲殻類による巣穴利用との比較を通して、ハゼ類の共生生態を浮き彫りにした。

まず、ウキゴリ属のエドハゼによる産卵巣としての甲殻類の巣穴利用を、樹脂による巣穴の鋳型標本から検討した。エドハゼはニホンスナモグリの巣穴を産卵巣として利用すること、産卵巣は宿主の巣穴を部分的に改変して構築することを明らかにした。

次に、仔稚魚の分散・着底過程を明らかにするために、稚魚ネットと近底層ネットによる採集により、須崎湾内外の4定点にて月毎に1年間、定量採集を行った。ヒモハゼの仔稚魚が湾内に留まり、宿主の分布する干潟への着底を容易にしていることが明らかになった。

巣穴共生者による甲殻類の巣穴利用をヨコヤアナジャコに巣穴を構築させた水槽における観察により定量評価した。ヒモハゼは昼夜ともに宿主の巣穴を利用するが、夜間では利用時間が低下した。捕食

者の危険が低い夜間ではシェルターとしての巣穴利用の必要性が低下することが示唆された。自由生活性のアベハゼを用いて巣穴利用を定量したところ、わずかな利用が認められた。野外観察により、本種はシェルターとなる構造物がない環境では甲殻類の巣穴を利用することが明らかになり、Bay Goby グループ以外のハゼ類でも条件的に甲殻類の巣穴利用が起きうることが示唆された。また、クボミテッポウエビとセジロムラサキエビによるヨコヤアナジャコの巣穴利用を定量し、宿主特異性の程度が巣穴利用のパラメータに影響を与えることを明らかにした。

巣穴共生者による巣穴利用の宿主特異性を明らかにするために、ヨコヤアナジャコとニホンスナモグリの巣穴利用を、室内実験および野外採集により明らかにした。ヒモハゼは巣穴利用の特異性がなかったのに対し、ウキゴリ属のチクゼンハゼはニホンスナモグりに、クボハゼはヨコヤアナジャコに強い特異性を示した。さらに、共生性カニ類のトリウミアカイソモドキでも、両宿主の間で宿主特異性は認められなかった。他にもウキゴリ属のキセルハゼがアナジャコの巣穴からしか採集されないことを考慮すると、ウキゴリ属は種の多様化とともに巣穴利用の宿主特異性が発達したことが示唆された。

ウキゴリ属ハゼ類に関する研究例の少ない北海道での採集により、エドハゼによるアナジャコの巣穴利用が明らかになり、本種の分布域が更新された。さらに、ウキゴリ属が分布しない奄美大島では、スナモグリ類の巣穴をクモハゼ属のハゼ類が利用することが明らかになった。ウキゴリ属が分布しない亜熱帯域では、空きニッチとして他のハゼ類による巣穴利用が進化していることが示唆された。



## 論文審査の結果の要旨

生物多様性の形成および維持を理解するために、これまで競争や被捕食といった種間相互作用が重視されてきた。また、共生関係のうち、双方に利益がある種間関係の相利共生の研究も格別の関心を持って進められてきた。しかし、片方だけに利益がある種間関係の片利共生が生物多様性に与える影響については研究の余地が残されている。ここで、特に海洋環境において、相利共生に関わる種数に比べて、片利共生（実際には利害関係が十分調べられていない共生関係も含まれる）に関わる種数のほうが膨大であることを考えると、片利共生の研究をますます進展させる必要がある。そこで、学位論文提出者である邊見氏は、海洋環境における片利共生のうち、甲殻類の巣穴を利用するハゼ科魚類の生態を解明することを目的に研究を行った。甲殻類の巣穴を利用するハゼ類に関しては、テッポウエビ類との相利共生が著名であるが、他の共生系での研究を進めることによって、相利共生の進化や種の多様化を理解することにつながるのと考えに基づいている。そこで、邊見氏は、干潟から汽水域にかけての堆積物底の優占種であるアナジャコ類・スナモグリ類の巣穴を利用するヒモハゼ・ウキゴリ類を主たる研究対象とし、さらに、他のハゼ類や共生性甲殻類による巣穴利用との比較を通して、ハゼ類による片利共生による巣穴利用を総合的に追求することができた。

論文は、研究の背景と目的を示した第1章と総合考察を行った第6章をのぞき、異なる視点から研究された4つに分けられる。第2章ではヒモハゼとウキゴリ属ハゼ類の生活史に関する新知見を提供した。第3章では巣穴共生者による巣穴利用を室内実験により定量評価した結果を述べ、さらに、第4章では野外採集と室内実験により巣穴利用の専門化の有無を明らかにした。第5章ではハゼ類による甲殻類の巣穴利用の地理的広がりについて調査した結果を提示した。以下に、各章における発見について述べる。

第2章第1節では、ウキゴリ属のエドハゼによる産卵巣としての甲殻類の巣穴利用を、樹脂による鋳型標本より明らかにした。その結果、すべての産卵巣はニホンスナモグリの巣穴の砂塚に続く坑道の一部改変して作られていたことが明らかになった。この坑道を通してニホンスナモグリは巣穴の中の海水を直上の海水と交換することから、産卵巣には定期的に新鮮な海水が通過すると考えられる。この内容は以下の参考論文となった。

Yumi Henmi, Katsuhisa Eguchi, Ryutei Inui, Jun Nakajima, Norio Onikura and Gyo Itani (2018): Field survey and resin casting of *Gymnogobius macrognathos* spawning nests in the Tataru River, Fukuoka Prefecture, Japan. *Ichthyological Research*, 65:168-171.

第2章第2節では、ヒモハゼ仔稚魚の分散・着底過程を明らかにするために、稚魚ネットと近底層ネットによる採集により、須崎湾内外の4定点にて月毎に1年間、定量採集を行った。その結果、6月から7月にかけてヒモハゼの仔稚魚が採集された。ヒモハゼの仔稚魚は湾奥部の表層曳と近底層曳で採集され、その他の定点では採集されなかったことから、本種は孵化後、鉛直方向に分散し、湾外には出ることなく、湾内の日が他に着呈することが示唆された。

第3章第1節では、ヒモハゼによるヨコヤアナジャコの巣穴利用が夜間にも起きるか否かを、室内実験により定量評価した。その結果、ヒモハゼは昼夜ともに宿主の巣穴を利用するが、夜間では利用時間が低下した。野外観察の困難なヒモハゼの基礎的な行動を明らかにすることができた。

第3章第2節では、ヒモハゼやウキゴリ属ハゼ類と同所的に干潟に生息するアベハゼを対象として、甲殻類の巣穴利用の有無を野外と室内実験から明らかにした。その結果、アベハゼは隠れる構造物がない場合に甲殻類の巣穴を利用し、その利用はごく一時的なものであることが明らかになった。本結果は、干潟における甲殻類の巣穴が自由性のハゼ類にとっても隠れ家として機能することを示した。

第3章第3節では、巣穴共生性甲殻類のテッポウエビ類2種を材料として、ヨコヤアナジャコの巣穴利用を室内実験により定量化した。その結果、ジェネラリストであるセジロムラサキエビに比べ、スペシャリストのクボミテッポウエビはより長い時間を巣穴内で過ごした。この結果により、宿主特異性の程度が巣穴利用のパラメータに影響を与えることが明らかになった。

第4章第1節では、ヒモハゼとウキゴリ属チクゼンハゼ及びクボハゼを材料として、巣穴利用の宿主特異性を野外調査と室内実験により定量評価した。どちらの結果でも、ヒモハゼにはヨコヤアナジャコとニホンスナモグリへの専門化は認められず、チクゼンハゼはニホンスナモグリに、クボハゼはヨコヤアナジャコへの専門化が認められた。ウキゴリ属は多数の種が汽水域で甲殻類の巣穴を利用するために、ニッチ分化が起きている可能性が示唆された。



第4章第2節では、共生性カニ類のトリウミアカイソモドキを材料として、巣穴利用の宿主特異性を野外調査と水槽観察により定量評価した。その結果、ヨコヤアナジャコとニホンスナモグリの宿主の間で専門化は認められず、チクゼンハゼやクボハゼとは対照的な結果となった。この内容は以下の参考文献となった。

Yumi Henmi, Yuya Okada and Gyo Itani (2017): Field and laboratory quantification of alternative use of host burrows by the varunid crab *Sestrostoma toriumii* (Takeda, 1974) (Brachyura: Varunidae). *Journal of Crustacean Biology*, 37: 235-242.

第5章第1節では、アナジャコが優占する大規模な干潟としては日本の北限にあたる厚岸湖干潟において、巣穴共生性ハゼ類の採集を行った。その結果、エドハゼとニクハゼが採集され、ウキゴリ属の未記載種も採集された。ウキゴリ類が北方でもアナジャコ類と共生することが確認された。

第5章第2節では、熱帯域の干潟に巣穴を形成するトゲスナモグリの巣穴を利用する魚種を、奄美群島における採集調査により明らかにした。その結果、主にクモハゼ属の4種による巣穴利用が確認された。これは、温帯性のウキゴリ属が分布しない熱帯域の干潟において、スナモグリ類の巣穴が空きニッチとなって、他のグループのハゼ類による利用が起きている可能性を示した。

最後に、黒潮圏における保全上の問題を検討した。本研究で対象としたハゼ類はその多くが絶滅危惧種であり、その生活史を通してアナジャコ類・スナモグリ類の巣穴が重要であることが明らかになった。このことから、ヨコヤアナジャコやニホンスナモグリのような普通種であっても、絶滅危惧種のハゼ類の生息場所として保全する価値があることを示した。

以上、黒潮圏に広く分布し、汽水域の優占種となるアナジャコ類・スナモグリ類の巣穴を利用するハゼ類について、未知の共生生態の多くを明らかにした邊見氏の提出論文は博士論文として申し分ない。とくに、野外における定量採集と宿主に実際に巣穴を形成させた水槽を用いた観察実験の双方から、巣穴利用の生態を検証するという邊見氏の研究スタイルは、着実かつ堅実であり、研究成果の信憑性が極めて高く、国際・国内の学会発表でも高く評価されている。さらに、研究船を使用した仔稚魚の調査、樹脂による巣穴鋳型の形態の調査など、多様な研究方法も習熟することによって、学位取得後の研究活動を行うための十分な知識、技能を身につけると評価することができる。

ふりがな	にぎごろう
氏名(本籍)	和吾郎(高知県)
学位の種類	博士(学術)
学位記番号	乙総黒博第8号
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学位授与年月日	平成30年2月8日
学位論文題目	土佐湾の基礎生産に寄与する栄養塩供給に関する研究
発表誌名	<p>和吾郎・木下泉・深見公雄. 2008. 四万十川から供給される栄養塩が土佐湾西部沿岸海域の栄養塩分布と基礎生産の季節変化に及ぼす影響. 海の研究, 17(5): 357-369.</p> <p>和吾郎・藤田真二・東健作・平賀洋之. 2014. 高知県物部川の大規模山腹崩壊に伴う濁質の流出特性の変化. 陸水誌, 75(1): 13-26.</p> <p>Nigi, G., I. Kinoshita &amp; Y.S. Ibaraki. 2016. Nutrients supplied by upwelling from Shimanto Canyon to the euphotic zone of western Tosa Bay, Japan. La mer, 54(3/4): 73-84.</p> <p>和吾郎・木下泉・平岡雅規・東健作. 2018. 四万十川河口域の栄養塩変動がスジアオノリの藻体長と色素含有量に及ぼす影響. 藻類, 66(1): 7-16.</p>
	<p style="text-align: center;">審査委員 主査 教授 木下 泉 副査 准教授 平岡 雅規 副査 教授 深見 公雄</p>

#### 論文の内容の要旨

本邦の魚類再生産の場として重要な水域と位置づけられている土佐湾は、黒潮の分岐流が貫入し、その海況は黒潮の流軸変動の強い影響を受けている。貧栄養な黒潮の影響下にある土佐湾では、その生物生産を支えるための基礎生産を向上させる栄養塩供給が不可欠となる。土佐湾西部沿岸域には湾への流入河川の中で最大規模の四万十川が注ぎ、また湾口部の足摺岬周辺には湧昇発生の要因となる四万十海底谷が形成されている。しかし、河川起源と海底起源の双方の視点から栄養塩供給の検討を行った事例は、土佐湾のみならずほとんどない。本研究では四万十川河口域を含む沿岸域を対象に、河川及び湧昇による栄養塩供給機構とその基礎生産への寄与について明らかにすることを目的とした。

#### 1. 四万十川における栄養塩変動の特徴

2005～2006年の各月に、四万十川、仁淀川及び物部川の各河川下流部で栄養塩濃度 (dissolved inorganic nitrogen : DIN, dissolved inorganic phosphorus : DIP, dissolved silicon : DSi) を測定し、3河川を比較した。四万十川の2ヶ年平均値は、それぞれ DIN 15  $\mu\text{M}$ , DIP 0.14  $\mu\text{M}$ , DSi 164  $\mu\text{M}$  で、仁淀川 (2ヶ年平均: DIN 24  $\mu\text{M}$ , DIP 0.26  $\mu\text{M}$ , DSi 134  $\mu\text{M}$ ) と物部川 (2ヶ年平均: DIN 22  $\mu\text{M}$ , DIP 0.21  $\mu\text{M}$ , DSi 115  $\mu\text{M}$ ) に比べて DIN と DIP が低濃度、DSi が高濃度で推移した。四万十川の各栄養塩濃度とその比率 (DIN:DIP:DSi = 108:1:1180) は山地渓流水に類似し、富栄養化の程度が軽微で人為的な影響の小さい特性を示した。沿岸海域の主要な基礎生産者であるケイ藻プランクトンの体内元素組成を N:P:Si = 16:1:15 と考えれば (例えば, Redfield *et al.*, 1963), 四万十川から土佐湾へは珪藻プランクトンの栄養塩要求に対して窒素やケイ素, 特にケイ素が豊富に供給されている。



## 2. 四万十川河口域における栄養塩変動と大型緑藻スジアオノリの生育状態

四万十川河口域のスジアオノリ生育地で、2009～2011年の藻体生長期（1～2月）に栄養塩濃度（DIN, DIP）の測定を行うとともに、スジアオノリ藻体中の窒素（N）及びリン（P）含有量、並びに藻体長及びクロロフィル *a* 含有量を測定した。環境水中の DIN（3ヶ年平均：上流側 8.5  $\mu\text{M}$ 、中央部 8.4  $\mu\text{M}$ 、下流側 6.5  $\mu\text{M}$ ）は生育地の上下流側の範囲で有意な差はなく、DIP は上流側（3ヶ年平均 0.081  $\mu\text{M}$ ）がその下流側の2地点（3ヶ年平均：中央部及び下流側とも 0.13  $\mu\text{M}$ ）に比べて低濃度であった。本水域全体の栄養塩の水準（3地点の3ヶ年平均：DIN 7.6  $\mu\text{M}$ 、DIP 0.11  $\mu\text{M}$ ）は、スジアオノリ収穫量が多かった30年前（DIN 28  $\mu\text{M}$ 、DIP 1  $\mu\text{M}$ ）と比べて大きく低下し、DIP では約10倍の差が見られた。藻体内 N 含有量について、下流側では3ヶ年を通じて3～4%の水準を維持したものの、上流側では2010年以降に2%程度に減少した。藻体内 P 含有量は上流側が常に0.2%未満の低水準で推移し、他2地点より少なかった。DIP と藻体内 P 含有量との間には正の相関が認められ、DIP の低下時には藻体内 P 含有量だけでなく N 含有量も減少した。このことから、本水域では DIP が制限因子となって、藻体による P 及び N 摂取が抑制されたと考えられる。3ヶ年の3地点の環境水中の DIN:DIP 比（12～288）は大きく変動し、藻体内 N:P 比との間に正の相関が認められた。ただし、藻体内 N:P 比の変動範囲は DIN:DIP 比の変動範囲よりも小さく、主に上流側で DIN:DIP 比が高比率となるにつれて藻体内 N:P 比の上昇は鈍化する特徴が見られた。この DIN:DIP 比と藻体内 N:P 比との乖離は、環境水中の DIN:DIP 比が上昇した時に、藻体が体内 N:P 比のバランスを維持しようとし、DIN の摂取を抑制したことを示唆している。藻体長の大きさは藻体内 N 及び P 含有量との関係性は見られなかったのに対し、藻体内のクロロフィル *a* 含有量の変動は藻体内 N 及び P 含有量との増減が一致した。これは当該水域における栄養塩変動が藻体の色相に影響を及ぼすことを示している。本研究で得られたクロロフィル *a* 含有量（0.91～6.3  $\text{mg g}^{-1}$ ）は、他水域のそれと比べて少なく、近年の DIP 不足による影響を示している。

## 3. 土佐湾西部浅海域の栄養塩濃度と植物プランクトン量の季節変化

2005～2006年の各月に土佐湾西部浅海域の表層の栄養塩濃度（DIN, DIP, DSi）及びクロロフィル *a* 濃度の水平分布と季節変化、並びに四万十川からの栄養塩供給量の季節変化を調べ、四万十川が土佐湾西部浅海域の植物プランクトン生産に及ぼす影響について検討した。2005年と2006年の四万十川からの栄養塩供給量は、両年の流量差を反映し、2006年が多かった。2005年の各地点の DIN の季節変化は、全体的に冬季循環期（11～4月）に高濃度となり、2～3  $\mu\text{M}$  程度存在した。成層期（5～10月）の DIN は四万十川河口沖の地点を除いて明瞭に減少した。DIP も、DIN と同様に循環期に相対的に高く（0.1～0.3  $\mu\text{M}$ ）、成層期に減少した。DSi は、四万十川河口沖の地点では年間を通して他地点よりも高い水準（3.5～44  $\mu\text{M}$ ）で推移し、他の地点は DIN や DIP と同様に循環期に相対的に高くなった。各地点のクロロフィル *a* の季節的消長は栄養塩と同様の傾向を示し、成層期の四万十川河口沖では他地点のクロロフィル *a* 量（0.1～0.5  $\mu\text{g L}^{-1}$ ）に比べて高い水準（9月を除いて 0.6～1.4  $\mu\text{g L}^{-1}$ ）にあり、循環期の水準より大きく低下する状況は見られなかった。栄養塩比について、循環期は各地点とも DIN:DIP 比が10～22の範囲にあり、ケイ藻プランクトンの体内組成比と類似した。成層期の DIN:DIP 比は、四万十川河口沖では DIN:DIP 比が10程度であったのに対し、その他の地点は DIN:DIP 比が10以下となり、窒素が制限因子として作用していると推定された。2006年は、循環期では流量が少なかった2005年と同様に地点間差が小さく、全体的に栄養塩が豊富な状況となった。一方、成層期は2005年に比べて DIN:DIP 比が10以上を示す範囲が拡大し、また河口からの距離が遠くなるに連れて栄養塩濃度が低下する傾向が見られ、クロロフィル *a* 量も栄養塩と同様の分布を示した。2ヶ年の四万十川河口に近い定点の DIN と DSi は、四万十川からの DIN 及び DSi 供給量と正の相関が見られた。このことは、土佐湾西部浅海域では、四



万十川の影響が及ぶ範囲において窒素制限が解除され、基礎生産が維持されることを示している。

#### 4. 土佐湾西部湾口部における栄養塩と植物プランクトン量の鉛直変化

足摺岬周辺に存在する海底谷群のうち、最も沿岸部まで刻み込む四万十海底谷に注目し、2010年の四季に海底谷周辺の栄養塩濃度(DIN, DIP, DSi)及びクロロフィル*a*濃度の鉛直分布を調べ、湧昇発生の有無と基礎生産の応答、さらに黒潮流路と湧昇発生との関係について検討した。各栄養塩の最高値は各季節とも海底谷内の底層(水深300m層)で観測し、年平均値はそれぞれDIN 22  $\mu\text{M}$ , DIP 1.7  $\mu\text{M}$ , DSi 41  $\mu\text{M}$ であった。栄養塩濃度を季節間で比べると、0~50 m層では各栄養塩とも1月が相対的に高濃度(全地点平均 DIN 2.6  $\mu\text{M}$ , DIP 0.25  $\mu\text{M}$ , DSi 3.2  $\mu\text{M}$ )であり、他の三季の0~50 m層では、概ねDINが1  $\mu\text{M}$ 以下、DIPが0.1  $\mu\text{M}$ 以下、DSiが3  $\mu\text{M}$ 以下の水準となった。100~300 m層では各栄養塩とも8月の分布が他季と異なり、海底付近の高濃度層の分布が上層側に拡大している状況を示し、湧昇の発生が認められた。1月、5月、11月の真光層の最大クロロフィル*a*量は、それぞれ0.5~0.6  $\mu\text{g L}^{-1}$ であったのに対し、湧昇が発生していた8月のクロロフィル*a*量は、水温躍層下の50 m層付近で年最高値となる3.2  $\mu\text{g L}^{-1}$ を観測した。海底谷内300 m層の栄養塩の年平均値の水準は土佐湾西部海域に最大の淡水量を供給する四万十川下流部における栄養塩濃度(2005年の年平均値)と比べて、DSiは四万十川の1/3程度であったものの、当水域の制限因子と考えられるDINは1.5倍、DIPは19倍ほど高濃度で、海底谷内のDSiを除く栄養塩は河川水以上に豊富に存在していた。このことは、海底谷からの湧昇が土佐湾西部海域の基礎生産を向上させる栄養塩供給のメカニズムとして、重要な役割を果たしていることを示している。各観測時における黒潮流路は湧昇が認められた8月のみ接岸していたことから、本章で確認された現象は、黒潮流路変動が四万十海底谷の湧昇の発生に関与し、接岸時に湧昇が生じる可能性が高いことを示している。

#### 5. 総合考察

四万十川のDIN:DIP比は高比率で、汽水域上流側に生育するスジアオノリに対してはDIPが制限因子として作用し易く、DIP低下時にクロロフィル*a*含有量が減少すると考えられた。その一方で、成層期の土佐湾西部海域はDINの方が枯渇し易く、それが植物プランクトン生産を抑制するため、四万十川の流入は土佐湾西部沿岸域に対しては窒素制限を解除する役割を果たしている。四万十川から供給される栄養塩は広範囲に拡散される状況は見られなかったものの連続的に供給される利点があり、それによって河口近くの浅海域では高い基礎生産が維持され、シラス漁場の形成に貢献している可能性がある。今後は、河川の主要な基礎生産者である付着藻類と栄養塩との関係についても注目し、河川流域で発生した栄養塩の行方について検討する必要がある。

土佐湾西部海域の湾口部に形成されている四万十海底谷では、黒潮接岸時に湧昇による海底から真光層への栄養塩供給が確認され、亜表層におけるクロロフィル*a*極大層が出現した。本研究では河川起源と海底起源の定量的な評価はできていないものの、湧昇時における亜表層と河川プルーム内のクロロフィル*a*量の比較から、土佐湾西部沿岸海域の基礎生産に対しては湧昇による栄養塩供給の寄与が大きいと考えられる。しかし、湧昇の発生は断続的であるため、ニタリクジラのような大型鯨類の成育も支える当該水域の生物生産の維持・向上には、高頻度の湧昇発生が重要な条件となり、今後、湧昇のメカニズムを解明することが求められる。



## 論文審査の結果の要旨

申請者・和 吾郎 氏は、2017年10月30日に上記題目の学位論文について審査願を本専攻に提出した。申請者の大学院修士課程修了後20年以上の研究経歴および必要提出書類を確認し、直ちに予備審査委員会が設置され、11月9日から予備審査が開始された。申請者が筆頭著者である4篇の参考論文の査読制度付き学術論文雑誌への公表（次頁末）、および国際学会相当の国内学会での少なくとも3度の口頭発表を確認し、11月17日に予備審査に合格し、12月16日より本審査に入った。

本論文は、四万十川河口域を含む沿岸域を対象に、河川と湧昇流による栄養塩供給と基礎生産との関係を明らかにしたものである。本邦の魚類再生産の場として重要な水域とされている土佐湾は、貧栄養な黒潮の影響下にあり、その生物生産を支えるためには基礎生産を向上させる栄養塩供給が必要となる。土佐湾西部には四国最長の四万十川が注ぎ、さらに、足摺岬東方沖に湧昇流の起源となる四万十海底谷がある。しかし、河川起源と海底起源の双方の視点から栄養塩供給の比較を行った事例はこれまでほぼなかった。本論文はこの命題を探求するために、次の5章からなっている。

### I. 四万十川の環境特性と栄養塩変動（参考論文①・②）

土佐湾西部沿岸域では、2005年の各月に、表層の栄養塩とクロロフィルa（以下Chl-a）濃度の水平分布を、四万十川からの栄養塩供給量と合わせて調べた。沿岸域の栄養塩とChl-aは循環期に上昇し、成層期に低下した。成層期の沿岸域の栄養塩のN:P:Si比は珪藻類の元素組成に対してNが少なく、DINが制限因子と考えられた。その中で河口に近い観測点の栄養塩は成層期も相対的に豊富に存在し、Chl-aの低下はみられなかった。当観測点のDINは四万十川からのDIN供給量の変動に対応し、成層期には河川由来の栄養塩により植物プランクトン生産が維持されることが示された。

### II. 四万十川河口域における栄養塩変動とスジアオノリの生育状態（参考論文④）

四万十川河口域で、2009-2011年の藻体生長期（1-2月）に栄養塩濃度とスジアオノリ藻体中のN・P含有量、Chl-a含有量を調べた。環境水中のDINは生育地の上一下流で顕著な差はなかったものの、DIPは上流側が低濃度であった。DIPの低下時には藻体内P含有量だけでなく、N含有量とChl-a含有量も減少した。これにより、四万十川河口域ではDIPが制限因子として藻体の栄養塩吸収を左右し、その不足時には藻体の淡緑色化が生じることが示された。

### III・IV. 土佐湾西部海の栄養塩と直物プランクトン（参考論文③）

2010年の四季には四万十海底谷周辺の栄養塩とChl-a濃度を鉛直的に測定し、湧昇発生の有無を調べた。栄養塩は海底谷内の底層（300m層）で最高値を示し、そのDINとDIPは四万十川よりも高濃度に存在した。夏季の観測では湧昇の発生が確認され、栄養塩が有光層まで輸送される状況を示し、海底谷縁辺の垂表層で高濃度のChl-aが検出された。各観測時の黒潮流路は8月のみ接岸し、湧昇は黒潮の流路変動と海底地形の組合せの効果によって発生すると考えられた。

### V. 総合考察

四万十川の高いN:P比は河口域に生育するスジアオノリに対してP制限の状況を生じさせる一方で、成層期にNが枯渇し易い土佐湾に対しては植物プランクトンのN供給源として効果的に作用することが明らかとなった。しかし、その影響範囲は河口地先が中心となり、当該水域の生物量を支える上では湧昇による栄養塩供給が有効で、その発生頻度と持続期間が重要な意味を持つと考えられた。

以上、本研究は、土佐湾の生物生産の豊穡さの要因を探るために、栄養塩の動態を中深層からおよび陸域から主に海洋化学的手法によって追ったものである。「地球温暖化とCO<sub>2</sub>との関連性」と同様、「山・川・海の栄養塩の連関」が定説のように吹聴されている昨今、本研究はこの考え方に対峙し、大衆的な流行に警鐘を鳴らし、海洋における栄養塩の起源の見直しに大きな示唆となるかもしれない。いずれにしても、その膨大なデータに裏付けられた新知見は、本邦のみならず世界の海洋学の発展に寄与することは間違いない。ちなみに、本研究が黒潮圏科学からみた評価は言うまでもない。



申請者は、以上の調査・研究を民間コンサルタントに入社以来、弛まなく続け、科学的業務を遂行するための十分な知識、技能および思考法を修得できていると判断される。

<参考論文>

- ① 和吾郎・木下泉・深見公雄. 2008. 四万十川から供給される栄養塩が土佐湾西部沿岸海域の栄養塩分布と基礎生産の季節変化に及ぼす影響. 海の研究, 17(5): 357-369.
- ② 和吾郎・藤田真二・東健作・平賀洋之. 2014. 高知県物部川の大規模山腹崩壊に伴う濁質の流出特性の変化. 陸水誌, 75(1): 13-26.
- ③ Nigi, G., I. Kinoshita & Y.S. Ibaraki. 2016. Nutrients supplied by upwelling from Shimanto Canyon to the euphotic zone of western Tosa Bay, Japan. La mer, 54(3/4): 73-84.
- ④ 和吾郎・木下泉・平岡雅規・東健作. 2018. 四万十川河口域の栄養塩変動がスジアオノリの藻体長と色素含有量に及ぼす影響. 藻類, 66 (印刷中).

